10.22092/spi.2021.124602

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۷، شماره ۱، سال ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه لاین های امید بخش باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از تجزیه AMMI

Assessment of Genotype × Environment Interaction and Seed Yield Stability of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Promising lines Using AMMI Analysis

فاطمه شیخ[۱]، رضا سخاوت[۲]، حسین آسترکی[۳] و علیرضا پرکاسی[۴]

۱- استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.
۲- مربی، بخش بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران.
۳- محقق، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بروجرد، ایران.
۴- محقق، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایرانشهر، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱

چکیده

شیخ، ف.، سخاوت، ر.، آسترکی، ح. و پرکاسی، ع. ۱۴۰۰. بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه لاین های امید بخش باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از تجزیه AMMI. **مجله نهال و بذر ۳۷:** ۲۲-۱.

این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه ۱۵ لاین امید بخش باقلا و ارقام شاهد به مدت دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۴) در ایستگاه‌های تحقیقاتی گرگان (دیم)، دزفول (آبی)، بروجرد (دیم) و ایرانشهر (آبی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که ژنوتیپ‌های باقلا از نظر تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه تفاوت معنی دار داشتند. لاین‌های FLIP03-069FB، ILB1266 × ILB1814 و WRB2-7 × Giza Blanca به ترتیب بیشترین عملکرد دانه را داشتند. اثر اصلی محیط ۷۶/۴۳ درصد از تغییرات کل عملکرد را به خود اختصاص داد، در حالی که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۶/۳۱ و ۱۷ درصد بود. بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش تجزیه چند متغیره اثر اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش ضرب‌پذیر (AMMI) نشان داد شش مؤلفه اصلی مدل AMMI معنی‌دار بودند و ۹۹/۶۹ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. بر اساس ارزش پایداری امی (ASV)، لاین های WRB2-7 × Giza Blanca، ILB 3626، Barkat × BPL465 و رقم برکت دارای پایداری عملکرد دانه و ژنوتیپ Barkat × New Mammoth و رقم زرشکی با داشتن بیشترین برهمکنش ژنوتیپ × محیط عملکرد دانه ناپایدار داشتند. همچنین محیط‌های گرگان و بروجرد به‌دلیل داشتن برهمکنش ژنوتیپ × محیط بالا، به عنوان محیط ایده آل جهت تمایز بین لاین‌های باقلا شناخته شدند. در نهایت لاین WRB2-7 × Giza Blanca با میانگین عملکرد دانه ۳۲۸۸ کیلوگرم در هکتار، پایداری عملکرد بالاو سازگاری وسیع برای نامگذاری و معرفی به عنوان رقم تجاری جدید برای مناطق هدف شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: باقلا، اثر اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش ضرب پذیر، ارزش پایداری امی، عملکرد دانه و محیط ایده آل

نگارنده مسئول: sheikhfatemeh@yahoo.com تلفن: ۰۱۷۳۲۱۷۴۲۴

مقدمه

باقلا (*Vicia faba* L.) متعلق به تیره بقولات است که دارای ژنوم ۱۲= ۲x = ۲n می باشد. انواع بذر ریز و متوسط باقلا را Field bean و انواع بذر درشت آن را Broad bean می‌نامند (Katerj *et al.,* 2009). این محصول زراعی به دلیل داشتن پروتئین بالا، املاح معدنی، ویتامین و ترکیبات زیست فعال در دنیا حائز اهمیت است. همچنین این محصول در حفظ پایداری نظام‌های کشاورزی و تثبیت نیتروژن جوی از طریق همزیستی بسیار کارآمد است (Karkanis *et al*., 2018; Tadele, 2019).

بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) باقلا از نظر اهمیت بعد از لوبیا، نخود فرنگی و نخود چهارمین حبوبات از نظر سطح زیر کشت می‌باشد. به‌طورکلی در حدود ۲/۱ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی دنیا به کشت باقلا اختصاص دارد و تولید آن در جهان بالغ بر ۴/۱ میلیون تن با عملکردی بین۶-۱ تن در هکتار است (FAO, 2017). این گیاه یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی ایران است و عمدتاً در استان‌های خوزستان، لرستان، اصفهان، کاشان، گلستان و مازندران کشت می‌شود. باقلا از حبوبات با ارزش غذایی بالا است و در تناوب، الگوی کشت و سبد غذایی خانوار جایگاه ویژه‌ای دارد (Sheikh and Feyzbakhsh, 2019).

دستیابی به ارقام با عملکرد بالا و دامنه سازگاری وسیع مهمترین هدف به نژادگران می‌باشد که البته اثر متقابل ژنوتیپ × محیط دستیابی به این مهم را دشوار می‌سازد. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف در مقابل تغییرات شرایط محیطی است و یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده عملکرد است (Vargas *et al.,* 1999). به‌منظور بهره‌وری از تنوع موجود و معرفی ارقام جدید باقلا بایستی ژنوتیپ‌ها و لاین‌های اصلاح شده باقلا در چند محیط بررسی شوند و با استفاده از روش‌های تجزیه پایداری بهترین ژنوتیپ برای هر محیط معرفی شود.

روش‌های تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار، شامل روش‌های تک متغیره، چند متغیره مبتنی بر تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شامل AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) و GGE-Biplot و روش‌های ناپارامتری هستند (Yan *et al.,* 2000; Shiri and Bahrampour, 2016). مقایسه روش‌های تک متغیره و چند متغیره نشان داده‌است که روش AMMI به دلیل بررسی همزمان گرافیکی ارقام و محیط‌ها از طریق نمودارهای بای پلات کاربردی‌تر از روش‌های تک متغیره است و برای درک جنبه‌های مختلف اثر متقابل ژنوتیپ × محیط استفاده از روش‌های آماری چند متغیره توصیه می‌شود (Rabiei and Khodambashi, 2020).

در روش چند متغیره AMMI اثر افزایشی (تجزیه واریانس) و اثر ضرب پذیر (تجزیه

به مؤلفه‌های اصلی) به‌طور همزمان بررسی می‌شوند (Gauch, 2006; Yan *et al.,* 2007). استفاده از روش AMMI برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط در گیاهان مختلف مانند لوبیا (Firew *et al.,* 2019)، تنباکو (Sadeghi *et al.,* 2011)، نخود (Sabaghpour *et al.,* 2012)، جو (Maniruzzaman *et al.,* 2019)، ذرت (Brankovic-Radojcic *et al.,* 2018)، سویا (Sharifi *et al.,* 2018)، برنج (Liu *et al.,* 2017)، چغندرقند (Ciric *et al.,* 2017)، آفتابگردان (Nasir Mousavi, 2018)، گندم دروم (Tekdal and Kendal, 2018)، گلرنگ (Mohammadi *et al.,* 2016)، یولاف (Safavi and Bahraminejad, 2017) و کلزا (Bocianowskia *et al.,* 2020) گزارش شده است.

با توجه به تغییرات زیاد خصوصیات مرفولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف، مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باقلا حائز اهمیت است (Tolessa *et al.,* 2019). از روش AMMI برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ارقام و ژنوتیپ‌های باقلا در چندین مطالعه از قبیل مطالعه تدز و همکاران (Tadesse *et al.,* 2016) بر روی ۲۱ ژنوتیپ در هشت محیط در اتیوپی، تکاگلین و همکاران (Tekalign *et al.,* 2017) بر روی پایداری عملکرد و مقاومت به بیماری لکه شکلاتی، تولسا و همکاران (Tolessa *et al.,* 2019) در اتیوپی، فلورز و همکاران (Flores *et al.,* 1996) در جنوب اسپانیا، انجام شده‌است.

هدف از این پژوهش بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط لاین های امید بخش باقلا با استفاده از روش چند متغیره AMMI و شناسایی لاین های با عملکرد بالا و پایدار جهت نامگذاری و معرفی برای کشت در مناطق مختلف اقلیم‌های معتدل سرد، معتدل و گرم کشور بود.

مواد و روش‌ها

برای بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های باقلا، ۱۵ لاین امیدبخش باقلا به‌همراه ارقام شاهد برکت، زرشکی، سرازیری و بلوچی (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی گرگان، دزفول، بروجرد و ایرانشهر (جدول ۲)، به مدت دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵) کشت و ارزیابی شدند. هر کرت شامل شش ردیف چهار متری به فواصل ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود.

آماده‌سازی زمین با استفاده از شخم عمیق و دو مرحله دیسک صورت گرفت. بر اساس آزمون خاک کوددهی انجام شد. وجین علف‌های هرز بسته به منطقه ۴-۳ بار به صورت دستی انجام شد. در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی گرگان و بروجرد کشت باقلا به صورت دیم انجام شد. در ایستگاه‌های دزفول و ایرانشهر بر حسب نیاز و مشابه شرایط زارعین ۳-۷ بار آبیاری انجام شد. در طول دوره رشد از

سم حشره کش پریمیکارپ به میزان نیم لیتر در هکتار جهت کنترل شته سیاه باقلا استفاده شد.

جدول ۱- شماره، منشاء، شجره و کد ژنوتیپ‌های باقلا

Table 1. Number, origin, pedigree and code of faba bean genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype no.	نام/شجره Name/Pedigree	منشاء Origin	کد ژنوتیپ Genotype code
G1	Giza Blanca	ICARDA	G-Faba -10
G2	ILB 3626	ICARDA	G-Faba -12
G3	FLIP03-61FB (F6/1767/03/HBP/C.Spot × Ascot × Oro/776-3)	ICARDA	G-Faba -57
G4	line F6 latt/440/08	ICARDA	G-Faba -145
G5	FLIP06-23FB(HBPES0/2000-fam7690-1)	ICARDA	G-Faba -161
G6	F8/7093/06 - A	ICARDA	G-Faba -180
G7	Barkat × ILB 1270	Gorgan	G-Faba -517
G8	Barkat × Giant	Gorgan	G-Faba -519
G9	Barkat × New Mammoth	Gorgan	G-Faba -520
G10	Barkat × BPL 465	Gorgan	G-Faba -524
G11	Barkat × 98 264-1	Gorgan	G-Faba -525
G12	S 2008,033(WRB2-7 × Giza Blanca)	ICARDA	G-Faba -256
G13	S 2008,034(WRB1-3 × Giza Blanca)	ICARDA	G-Faba -257
G14	FLIP03-069FB	ICARDA	G-Faba -288
G15	ILB1266 × ILB1814	ICARDA	G-Faba -332
G16	Barekat	Check	G-Faba -20
G17	Zereshki	Check	G-Faba -19
G18	Saraziri	Check	G-Faba -5
G19	Baloochi	Check	G-Faba -334

جدول ۲- میانگین بارندگی سالانه، ارتفاع از سطح دریا و کد محیط های محل آزمایش

Table 2. Average annual rainfall, altitude above sea level and environment codes

Location	مکان	ارتفاع (متر) Altitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	میانگین بارندگی (میلیمتر) Average rainfall (mm) ۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	۱۳۹۵-۹۶ 2016-17	میانگین دمای سالانه Average annual temperature	کد محیط Environment code ۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	۱۳۹۵-۹۶ 2016-17
Gorgan	گرگان	5	36º 54´N	54º 25´E	495.0	338.0	19.00	E1	E5
Dezful	دزفول	83	32º 20´N	48º 30´E	244.7	210.4	23.17	E2	E6
Broujerd	بروجرد	1520	33º 89´N	48º 76´E	435.6	405.3	14.60	E3	E7
Iranshahr	ایرانشهر	591	27º 15´N	60º 40´E	121.0	104.0	26.50	E4	E8

صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه در طول فصل زراعی و پس از برداشت ثبت شدند. در زمان رسیدگی کامل برداشت از چهار خط میانی و با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای کرت انجام شد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا برای اطمینان از همگنی واریانس خطاهای آزمایشی آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با فرض ثابت بودن ژنوتیپ‌ها و تصادفی

بودن اثر سال و مکان با استفاده از نرم افزار SAS ver 9.1 (SAS Institute Inc, 2011) انجام گردید. و پس از آن تجزیه‌های AMMI با استفاده از نرم افزار GenStat انجام گردید. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Minitab ver 14 (MINITAB, 2005) استفاده شد. روش تجزیه AMMI از ANOVA (اثر افزایشی) و PCA (اثر ضرب‌پذیر) برای برآورد پایداری و اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط استفاده می کند. برای تجزیه پایداری به روش AMMI از مدل آماری زیر استفاده شد.

رابطه ۱: $Y_{ger}=\mu+\alpha_g+\beta_e+\sum_n\lambda_n\alpha_{gn}\gamma_{en}+\rho_{ge}+\varepsilon_{ge}$

که در آن Y_{ger} عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام و تکرار rام، μ میانگین کل، α_g و β_e به‌ترتیب اثر اصلی ژنوتیپ و محیط، λ_n مقدار ویژه برای محور مؤلفه اصلی nام، α_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ برای محور gام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، γ_{en} بردار ویژه محیط برای محور eام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، ρ_{ge} مقدار نویز و ε_{ge} مربوط به خطا است (Firew *et al.,* 2019)

برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایدار و محیط‌های ایده‌ال، از پارامتر ارزش پایداری امی (ASV = AMMI Stability Value) بر اساس رابطه زیر استفاده شد (Purchase *et al.,* 2000).

رابطه ۲: $ASV=\sqrt{\frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}}\left(IPCA1_{score}\right)^2+\left(IPCA2_{score}\right)^2}$

در رابطه بالا SSIPCA1 و SSIPCA2 به‌ترتیب مربوط به مجموع مربعات اولین و دومین مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط، IPCA1 و IPCA2 به ترتیب مربوط به مقدار مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش برای هر یک از ژنوتیپ‌ها می‌باشد. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از رتبه عملکرد دانه و پارامتر ASV به روش وارد (Ward) و بر اساس توان دوم فاصله اقلیدسی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد (SPSS, 2010). برش دندروگرام‌های حاصل براساس مقادیر آماره ویلکس لامبدا (Wilk’s Lamda)، بود (Moghaddam *et al.*, 1995).

تجزیه واریانس مرکب داده ها بر اساس روش کمترین مربعات با ثابت انگاشتن اثر ژنوتیپ و تصادفی در نظر گرفتن اثر سال و مکان برای صفات روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه انجام شد.

نتایج و بحث

آزمون بارتلت برای تایید همگنی واریانس خطاهای آزمایشی انجام شد. با توجه به‌اینکه آماره کای‌دو ($\chi 2$) آزمایش با درجه آزادی هفت از مقدار جدول در سطح احتمال یک درصد کوچک‌تر بود، لذا فرض همگنی واریانس خطای آزمایشی رد نشد.

تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین مکان‌های مورد بررسی

برای صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳)، که با توجه به تنوع اقلیمی، میزان بارندگی وموقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها دور از انتظار نبود (جدول ۲). ژنوتیپ‌های باقلا نیز برای صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند. عمار و همکاران (Ammar *et al.,* 2015) نیز با بررسی صفات مرفولوژیکی ۴۰ ژنوتیپ باقلا تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های مختلف گزارش کردند.

در ایستگاه گرگان و بروجرد در سال اول مقدار بارندگی بیشتر بود (جدول ۲)، این سبب افزایش عملکرد در سال پرباران در این دو ایستگاه دیم شد. در ایستگاه‌های دزفول و ایرانشهر مقدار عملکرد دانه به بارندگی وابسته نبود، در این دو ایستگاه تنش‌های دمایی نقش مهمی در تعیین اجزای عملکرد داشت. دمای بالای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در زمان تشکیل غلاف منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته و در نتیجه عملکرد شد.

رقم بلوچی و ژنوتیپ G15 کمترین تعداد روز تا گلدهی را به خود اختصاص دادند. رقم برکت بیشترین ارتفاع بوته و تعداد دانه در غلاف، ژنوتیپ G3 بیشترین تعداد غلاف در بوته و ژنوتیپ G11 بیشترین وزن صد دانه را به خود اختصاص دادند. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپ G14 بیشترین عملکرد دانه را داشت (جدول ۴).

در مطالعه حاضر با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تأیید آن بر اساس میانگین عملکرد دانه متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، برای تعیین پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها و بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط از روش چندمتغیره AMMI استفاده شد (جدول ۵). تجزیه AMMI نشان داد، اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). اثر محیط ۷۶/۴۳ درصد تغییرات، اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط به‌ترتیب ۶/۳۱ و ۱۷ درصد تغییرات مجموع مربعات سه منبع تغییر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). بخش عمده تغییرات توسط محیط توجیه شد و این به علت تفاوت اقلیم، میزان بارندگی، توزیع بارندگی، ارتفاع، تفاوت دمایی شب و روز محیط‌های مورد بررسی می‌باشد (جدول ۲).

تحقیقات فیکر و همکاران (Fikere *et al,.* 2008) بر روی باقلا نیز نشان داد که ۸۸/۵ درصد از مجموع مربعات کل مربوط به اثر محیط بود. نتایج مطالعات سایر محققان نیز بر روی سایر محصولات نشان داد تغییرات محیطی بخش عمده واریانس مشاهده شده را شامل می‌شوند (Sadeghi *et al.*, 2011; Sabaghpour *et al.,* 2012; Brankovic-Radojcic *et al.,* 2018).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا

Table 3. Combined analysis of variance for seed yield of faba bean genotypes

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df.	میانگین مربعات MS روز تا گلدهی Day to flowering	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در گیاه Pod no. plant^{-1}	تعداد دانه در غلاف Seed no. pod^{-1}	وزن صد دانه 100 seed weight	عملکرد دانه Seed yield
Location (L)	مکان	3	46161.82**	55054.52**	5837.50**	12.64**	11845.49**	168594962.10**
Year (Y)	سال	1	28.00**	529.18**	39.89*	0.27	71.64	185380.90*
L × Y	سال × مکان	3	43.78**	6639.22**	92.84**	1.64**	525.74**	1992755.20**
Error 1	خطای ۱	16	5.08	35.43	8.14	0.11	122.29	60543.80
Genotype (G)	ژنوتیپ	18	59.09**	437.36**	231.25**	2.80**	2885.23**	2349975.00**
L × G	ژنوتیپ × مکان	54	46.78**	276.42**	69.72**	0.44**	1276.84**	1967024.40**
Y × G	ژنوتیپ × سال	18	5.40**	91.81**	19.57**	0.21	149.39*	132062.30**
L × Y × G	ژنوتیپ × سال × مکان	54	7.03**	108.96**	17.88**	0.19**	134.36*	127687.40**
Error 2	خطای ۲	288	1.03	31.55	5.10	0.20	82.30	29642.00

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی خصوصیات زراعی، عملکرد دانه و اجزای آن برای ژنوتیپ‌های باقلا

Table 4. Mean comparison of some agronomic characteristics, seed yield and its components for faba bean genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype no.	روز تا گلدهی Day to flowering	ارتفاع بوته (سانتیمتر) Plant height (cm)	تعداد غلاف در بوته Pod no. $plant^{-1}$	تعداد دانه در غلاف Seeds no. pod^{-1}	وزن صد دانه (گرم) 100 seed weight (g)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg ha^{-1})
G1	98.58	71.93	10.04	3.30	119.77	2684.5
G2	98.25	69.85	11.33	3.22	117.72	2575.5
G3	99.41	74.87	19.19	3.26	99.49	2936.3
G4	99.54	74.03	15.33	3.29	102.79	2801.7
G5	99.83	69.02	16.96	2.68	94.95	2846.0
G6	99.16	74.25	14.33	3.26	106.11	3262.6
G7	97.95	77.83	12.77	3.6	110.52	3128.8
G8	98.87	74.98	10.50	3.4	129.22	2849.0
G9	99.95	79.31	11.17	3.92	129.64	3117.9
G10	100.08	73.65	10.37	3.62	115.95	2844.3
G11	100.04	73.87	10.29	3.36	134.48	3121.6
G12	98.25	80.35	14.17	3.10	113.13	3288.6
G13	96.54	74.41	13.14	3.16	112.29	3095.0
G14	96.41	81.72	13.52	3.05	117.86	3478.0
G15	95.79	75.54	12.30	3.18	119.65	3439.4
G16	96.16	82.81	9.51	4.01	118.76	3195.0
G17	96.79	81.65	15.42	3.20	85.63	2611.3
G18	96.70	78.33	10.94	3.33	112.09	2910.8
G19	95.79	83.52	7.31	2.81	106.45	2250.9
LSD5%	0.57	3.19	1.09	0.22	5.06	305.59

جدول ۵- تجزیه AMMI برای عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های باقلا

Table 5. AMMI analysis for seed yield of faba bean genotypes

S. O. V.	منبع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	درصد توجیه واریانس کل Total variation explained (%)	درصد توجیه واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط Genotype × environment variance explained (%)
Environment (E)	محیط	7	73135519.00**	76.43	
Genotype (G)	ژنوتیپ	18	2349974.00**	6.31	
Error 1	خطای ۱	16	60543.80**	-	
Interaction (G × E)	اثر متقابل	126	916599.80**	17.00	100.00
IPCA1	مؤلفه اول	24	2289367.00**		47.57
IPCA2	مؤلفه دوم	22	1759371.00**		33.51
IPCA3	مؤلفه سوم	20	665495.50**		11.52
IPCA4	مؤلفه چهارم	18	207898.80**		3.24
IPCA5	مؤلفه پنجم	16	190958.20**		2.64
IPCA6	مؤلفه ششم	14	98785.98**		1.19
Residuals	باقیمانده	12	2918088.00		
Error2	خطای ۲	288	31268.41		
Total	کل	455			

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

از طرفی معنی دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نیز نشان‌دهنده عملکرد متفاوت ژنوتیپ‌های مختلف در محیط‌های مختلف است (جدول ۵). در مطالعه فیکر و همکاران (Fikere *et al,*. 2008) و ازناکچ و همکاران (Asnakech *et al*., 2017) بر روی پایداری عملکرد دانه باقلا نیز اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود. کاهش تنوع ژنتیکی باعث می‌شود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار نباشد و در نهایت منجر به بروز فرسایش ژنتیکی در گیاهان در مواجهه با تنش‌های زیستی و غیر زیستی می شود (Kang *et al.,* 2004). از سوی دیگر معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و عدم توجه به آن موجب کاهش کارایی گزینش ژنتیکی می‌گردد (Kooshki *et al*., 2016).

بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش AMMI نشان داد که شش مؤلفه اصلی دارای برهمکنش معنی‌دار بودند و مابقی مؤلفه‌های اصلی با برهمکنش غیرمعنی‌دار، به عنوان باقیمانده در نظر گرفته شدند. به‌منظور تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از مدل AMMI تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی ماتریس باقی‌مانده صورت گرفت که شش مؤلفه اصلی اول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند و در مجموع ۹۹/۶۹ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند که سهم هر یک به‌ترتیب برابر با ۴۷/۱۷، ۳۳/۵۱، ۱۱/۵۲، ۳/۲۴، ۲/۶۴ و ۱/۱۹ درصد بود و سه مؤلفه اول ۹۲/۶۱ درصد از تغییرات را توجیه نمودند (جدول ۵).

فیکر و همکاران (Fikere *et al,*. 2008) از روش AMMI برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ‌های باقلا استفاده و گزارش کردند که چهار مؤلفه اول ۸۲/۱۰ درصد از مجموع مربعات برهمکنش را توجیه کردند. تولسا (Tolessa, 2015)، در بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش AMMI در باقلا اظهار داشتند، سهم دو مؤلفه اول از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ۶۶/۶ درصد بود. در آزمایشی بر روی لوبیا با استفاده از روش AMMI سه مؤلفه اصلی اول اثر متقابل معنی‌دار شد و ۶۷/۲ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه نمود (Pereira *et al*., 2014). تمسجنا و همکاران (Temesgena *et al.,* 2015) نیز پس از انجام تجزیه AMMI اظهار داشتند، دو مؤلفه اول به‌ترتیب ۷۳/۵۵ و ۱۵/۴۴ درصد از واریانس و در مجموع ۸۸/۹۹ درصد از واریانس اثر متقابل مشاهده شده را توجیه کردند.

میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه همراه با مقادیر سه مؤلفه اصلی ژنوتیپ × محیط ($IPCA_k$) و پارامتر پایداری ASV در جدول ۶ ارائه شده‌است. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های آزمایشی برابر با ۲۹۷۰/۹ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دامنه‌ای بین ۲۲۵۰/۸ تا ۳۴۷۸ کیلوگرم در

جدول ۶- میانگین عملکرد دانه، مقادیر مؤلفه‌های اصلی و رتبه ژنوتیپ‌های باقلا

Table 6. Mean seed yield, the values of the main components and the rank of faba bean genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype no.	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg ha^{-1})	رتبه عملکرد دانه Seed yield rank	IPCA1	IPCA1 rank	IPCA2	IPCA2 rank	IPCA3	IPCA3 rank	[a]ASV	ASV rank	[b]ASR
G1	2684.51	16	-0.46	16	0.33	15	-0.28	12	0.74	15	14.80
G2	2575.54	18	-0.05	2	-0.05	6	-0.40	19	0.16	2	9.40
G3	2944.63	10	0.21	13	-0.48	18	-0.07	4	0.21	6	10.20
G4	2802.97	15	0.14	10	-0.24	13	0.24	10	0.30	9	11.40
G5	2846.05	13	0.24	15	-0.06	8	0.24	11	0.21	5	10.40
G6	3262.60	4	0.14	9	0.02	2	0.37	18	0.31	10	8.60
G7	3128.85	6	-0.76	18	-0.14	10	0.00	1	0.81	16	10.20
G8	2848.97	12	-0.10	5	0.40	17	-0.01	2	0.23	7	8.60
G9	3117.86	8	-0.05	1	0.22	12	0.14	6	1.36	19	9.20
G10	2844.94	14	-0.11	8	-0.02	3	-0.13	5	0.16	3	6.60
G11	3121.64	7	-0.15	12	-0.01	1	-0.28	14	1.01	17	10.20
G12	3288.65	3	0.07	3	-0.28	14	0.20	8	0.09	1	5.80
G13	3094.96	9	0.07	4	-0.18	11	0.22	9	0.56	14	9.40
G14	3478.00	1	0.22	14	0.02	4	0.28	13	0.31	11	8.60
G15	3439.39	2	-0.51	17	-0.36	16	0.29	15	0.35	12	12.40
G16	3195.28	5	0.14	11	-0.12	9	-0.32	16	0.20	4	9.00
G17	2611.43	17	0.96	19	-0.02	5	-0.19	7	1.08	18	13.20
G18	2910.80	11	-0.11	6	-0.05	7	-0.33	17	0.42	13	10.80
G19	2250.89	19	0.11	7	1.00	19	0.04	3	0.23	8	11.20

[a]ASV: AMMI stability salue.

[b]ASR: Average of sum of ranks.

هکتـار متغیـر بـود و ژنوتیپ‌هـای G19 و G14 به‌ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. میانگین عملکـرد ژنوتیپ‌هـای G6، G7، G9، G11، G12، G13، G14، G15 و G16 نیز از میانگین عملکرد کل آزمایش بیشتر بود.

مـــدل AMMI بـــه تنهـــایی پایـــداری کمـی را پیش‌بینـی نمی‌کنـد. چنـین معیـاری بـرای تعیـین کمیـت و رتبـه بنـدی ژنوتیـپ هـا بـــر اســـاس پایـــداری صـــفت آنهـــا بســـیار مهـم اسـت (Firew *et al.*, 2019). بـرای ایـــن منظـــور می‌تـــوان از آماره‌هـــای $SIPC_1$ (Sum of the value of the IPC scores)، EV_1 (Eigenvector values)، $AMGE_1$ (Sum across environments of GEI) و ASV استفاده نمود.

در ســـه آمـــاره اول تنهـــا از مؤلفـــه اول (IPCA1) اســـتفاده می‌شـــود، بنـــابراین از اعتبـار کمتـری برخـوردار هسـتند، بهتـرین آن‌هـا پـارامتر پایـداری امـی ASV اسـت. در روش ASV ژنوتیـــپ هـــایی کـــه حـــداقل نمـره ASV دارنـد، دارای پایـدارترین عملکـرد هسـتند (Purchase *et al.*, 2000). از پـارامتر ASV بـه عنـوان یـک معیـار کمکـی بـرای تعریـف ژنوتیـپ هـای بـا عملکـرد پایـدارتر در لوبیـــا ســـفید (Firew *et al.*, 2019)، لوبیـای معمـولی (Tadele *et al.*, 2018)، نخـود (Zali *et al.*, 2009) و سایر محصولات مانند گنـدم (Farshadfar *et al.*, 2011) استفاده شده است.

در ایـن پـژوهش براسـاس پـارامتر پایـداری ASV کـه بـا اسـتفاده از دو مؤلفـه اصـلی اول محاسـبه شـد، بـه‌ترتیب ژنوتیپ‌هـای G12، G2، G10، G16 و G5 بـه ترتیـب دارای پایـدارترین عملکرد و ژنوتیپ‌هـای G9، G17، G11، G7 و G1 به ترتیب واحد ناپایدارترین عملکـرد بودنـد (جدول ۶). ژنوتیپ G12 با داشتن عملکـرد دانـه بالاتر از میانگین کل آزمایش، به عنـوان ژنوتیـپ دارای عملکـرد و پایـداری عملکـرد دانـه بـالا شناخته شد. لازم به ذکر است کـه ژنوتیـپ G12 بعـد از ژنوتیپ‌هـای G14 و G15 رتبـه سـوم عملکرد دانه را به خود اختصاص داد (جدول ۶).

میانگین عملکرد دانه محیط‌های آزمایشـی بـه همراه مقادیر سه مؤلفه اول برهمکنش محیطـی و پـارامتر پایـداری ASV جهـت بررسـی پایـداری محیط‌هـا در جـدول ۷ نمـایش داده شده‌اسـت. بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه محیطی بـه ترتیـب مربـوط بـه محیط‌هـای Gor16 (گرگـان سال اول با مقدار ۴۲۶۳/۹۸ کیلـوگرم در هکتـار) و Irshr16 (ایرانشهر سال اول با مقـدار ۱۷۰۵/۳۴ کیلـوگرم در هکتـار) بـود. محیط‌هـای Dez16 (دزفول سـال اول)، Dez17 (دزفـول سـال دوم)، Irshr16 (ایرانشـــــهر ســـــال اول) و Irshr17 (ایرانشـهر سـال دوم) بـا داشـتن کمتـرین مقـدار پارامتر ASV به عنـوان پایـدارترین و محیط‌هـای Gor17 (گرگـان سـال دوم)، Gor16 (گرگـان ســـال اول)، Brjd16 (بروجـــرد ســـال اول) و Brjd17 (بروجرد سـال دوم) بـا داشـتن بـالاترین مقـدار پـارامتر ASV بـه عنـوان ناپایـدارترین محیط‌ها شناخته شدند.

جدول ۷- میانگین عملکرد دانه، مقادیر مؤلفه‌های اصلی و رتبه محیط‌های آزمایشی

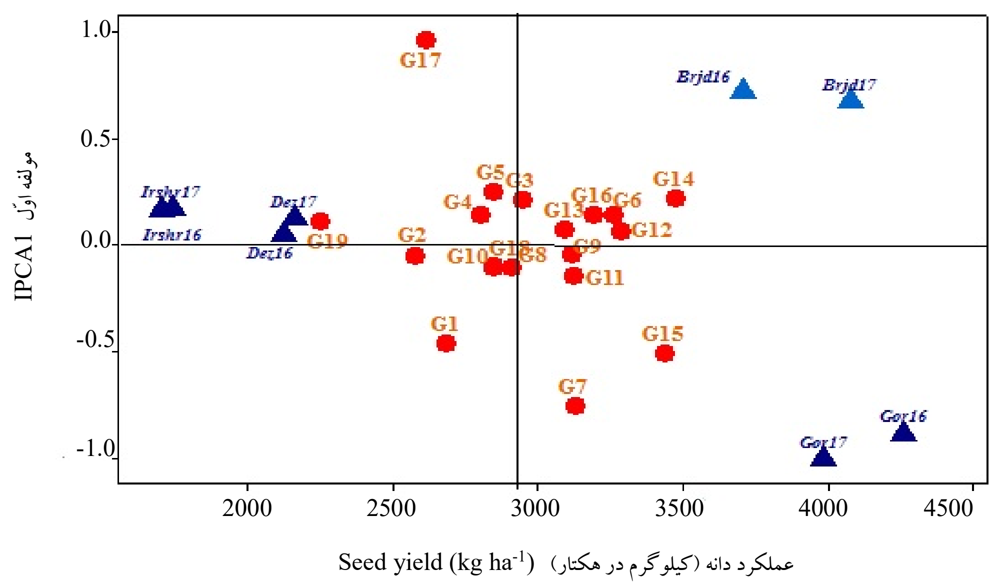
Table 7. Mean seed yield, the values of the main components and the rank of experimental environments

محیط Enviroment	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg ha^{-1})	رتبه عملکرد دانه Seed yield rank	IPCA1	IPCA1 rank	IPCA2	IPCA2 rank	IPCA3	IPCA3 rank	[a]ASV	ASV rank	[b]ASR
Gor16	4263.98	1	-0.88	7	-0.37	4	-0.21	2	1.31	7	4.2
Dez16	2123.86	6	0.04	1	0.03	1	-0.34	6	0.07	1	3.0
Brjd16	3709.94	4	0.71	6	-0.55	5	0.71	7	1.16	6	5.6
Irshr16	1705.34	8	0.16	3	0.87	8	0.71	8	0.90	4	6.2
Gor17	3987.14	3	-1.00	8	-0.20	3	-0.29	5	1.43	8	5.4
Dez17	2159.35	5	0.12	2	-0.04	2	-0.08	1	0.18	2	2.4
Brjd17	4080.54	2	0.67	5	-0.61	6	-0.24	3	1.13	5	4.2
Irshr17	1737.40	7	0.17	4	0.86	7	-0.27	4	0.90	3	5.0

[a]ASV: AMMI stability value.
[b]ASR: Average of sum of ranks

پارامتر میانگین رتبه (ASR) که بر اساس میانگین رتبه عملکرد دانه و سه مؤلفه اصلی معنی‌دار محاسبه شده بود، نیز همراستا با نتایج پارامتر پایداری ASV در شناسایی محیط‌های پایدار و ناپایدار بود (جدول ۶). نکته قابل توجه این است که محیط‌هایی مناسب و ایده‌آل محسوب می‌شوند که دارای برهمکنش بزرگ باشند. زیرا در این محیط‌ها تفاوت بین ژنوتیپ‌ها بهتر نمایان می‌شود. بنابراین با توجه به این نکته، محیط‌های گرگان و بروجرد به دلیل دارا بودن برهمکنش بزرگ (ناپایدارترین محیط‌ها)، بیشترین تاثیر را در برهمکنش داشتند و جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها مناسب می‌باشند.

نمودار بای‌پلات میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. محور افقی نشانگر اثر اصلی جمع پذیر یا میانگین عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و محور عمودی اثر متقابل ضربی یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) است. در شکل ۱ خط عمود در میانه بای‌پلات بیانگر میانگین عملکرد دانه کل دو سال آزمایش می‌باشد. بنابراین محیط‌ها و ژنوتیپ‌های سمت راست این خط دارای عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل می‌باشند. با توجه به این توضیح ژنوتیپ‌های G6،



شکل ۱- نمودار بای‌پلات میانگین عملکرد دانه و مؤلفه اصلی اوّل برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ۱۹ ژنوتیپ باقلا در هشت محیط

Fig. 1. Biplot of mean seed yield and the first main component of genotype × environment interaction for 19 faba bean genotypes in eight environments

G7، G9، G11، G12، G13، G14، G15 و G16 با قرار گرفتن در سمت راست خط عمود واقع در میانه بای‌پلات، عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل را به خود اختصاص دادند. ژنوتیپ‌های G19 و G17 کمترین عملکرد دانه را داشتند.

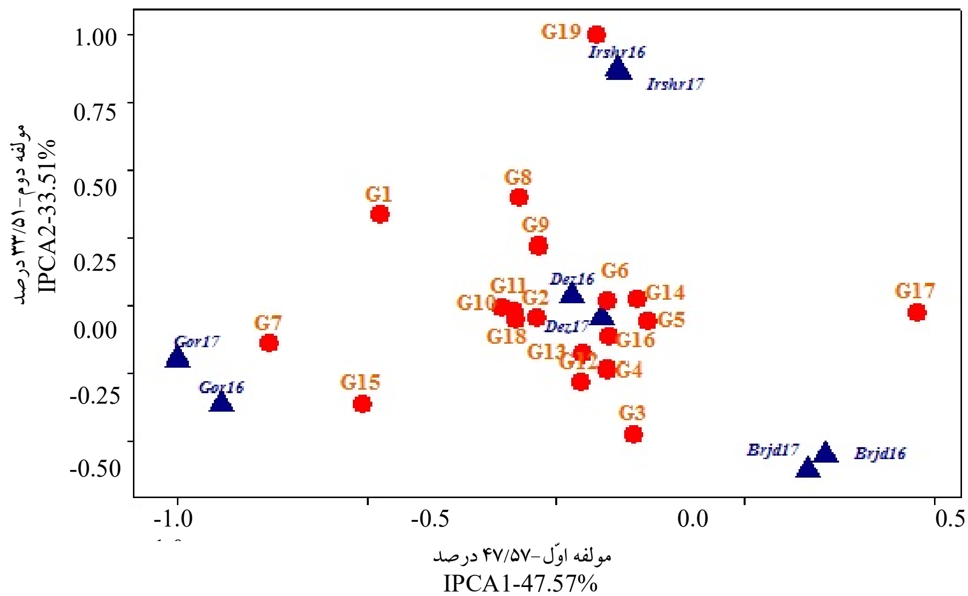
از طرف دیگر خط افقی در میانه بای‌پلات بیانگر عدم وجود برهمکنش می‌باشد و ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که نزدیک این خط قرار داشتند، دارای برهمکنش پایینی بودند. در حالیکه ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که از این خط فاصله دارند، دارای برهمکنش بالاتری بودند. با توجه به این نکات، ژنوتیپ‌های G2، G9، G10، G11، G12، G13 و G18 دارای برهمکنش پایین بودند، ولی ژنوتیپ G12 به علت داشتن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل به عنوان ژنوتیپ با عملکرد دانه بالا و پایدار انتخاب شد (شکل ۱).

ژنوتیپ‌هایی که عملکرد دانه کمتری داشته باشند اما دارای مقادیر مثبت برای اولین مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA1) باشند، برای کاشت در نواحی و مناطق ضعیف و کم‌بازده توصیه می‌شوند، به عبارتی این ژنوتیپ‌ها با مناطق ضعیف و کم‌بازده برهمکنش مثبت دارند (Khomari and Mohammadi, 2017). در این مطالعه ژنوتیپ‌های G3، G4، G5، G17 و G19 چنین وضعیتی را نشان دادند.

همانطور که گفته شد جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها، محیط‌هایی مناسب می‌باشند که دارای برهمکنش بیشتر باشند. با توجه به اطلاعات شکل ۱، محیط‌های Gor17 (گرگان سال دوم)، Gor16 (گرگان سال اول)، Brjd16 (بروجرد سال اول) و Brjd17 (بروجرد سال دوم) دارای برهمکنش بزرگ بودند. به عبارت دیگر، این دو محیط با توجه به مدل AMMI، بیشترین تأثیر را در برهمکنش داشتند و به عنوان محیط‌های ایده‌آل جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها در باقلا شناخته شدند.

نمودار بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه در شکل ۲ نمایش داده شده است. این بای‌پلات در مجموع ۸۱/۰۸ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کرد که سهم مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در تفکیک ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به ترتیب برابر با ۴۷/۵۷ و ۳۳/۵۱ درصد بود.

با توجه به شکل ۲، ژنوتیپ‌های G15 و G1 دارای برهمکنش بیشتر بودند و به همین دلیل دارای عملکرد ناپایدار بودند. ژنوتیپ‌های G2، G6، G10، G11، G12، G13 و G18 از برهمکنش کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند و بنابراین دارای سازگاری عمومی بودند، که می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود سازگاری در گیاه باقلا مورد استفاده قرار گیرند. بیشترین برهمکنش مربوط به محیط‌های Gor17 (گرگان سال دوم)، Gor16 (گرگان سال اول)، Brjd16 (بروجرد سال اول) و Brjd17 (بروجرد سال دوم) و کمترین میزان برهمکنش مربوط محیط‌های Dez16 و Dez17 (دزفول سال اول و دزفول سال دوم) بود (شکل ۲).

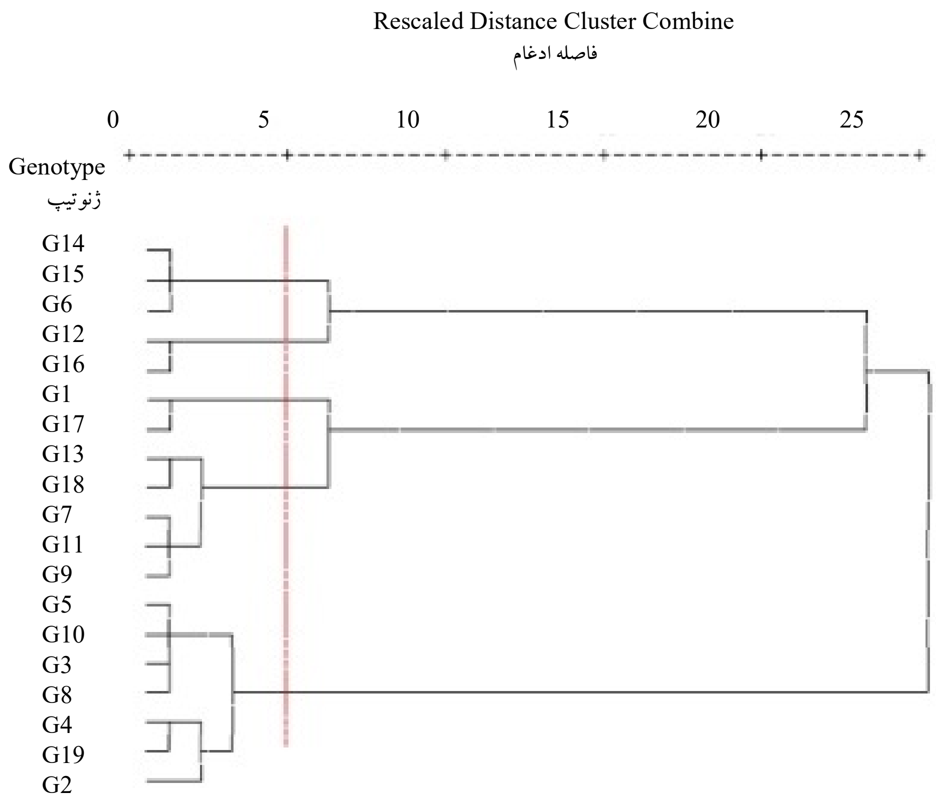


شکل ۲- نمودار بای‌پلات دو مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ۱۹ ژنوتیپ باقلا در هشت محیط

Fig. 2. Biplot of the two first and second main components of genotype × environment interaction for 19 faba bean genotypes in eight environments

گروه‌بندی بر اساس رتبه عملکرد و پارامتر ASV انجام شد (شکل ۳). برش دندروگرام مزبور بر اساس آماره ویلکس لامبدا در فاصله پنج واحد انجام شد. گروه اول شامل سه ژنوتیپ G6، G14 و G15 با عملکرد بالا و پایداری متوسط بود، این گروه را می‌توان برای مناطقی با شرایط رطوبتی و حاصلخیزی بالا توصیه کرد. ژنوتیپ‌های G12 و G16 نیز در گروه دوم جای داشتند. اعضای این گروه عملکرد بالاتر از میانگین و پایداری بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها و اعضای گروه اول داشتند. اعضای این گروه منابع ژنتیکی ایده‌الی از لحاظ عملکرد بالا و پایدار محسوب می‌شوند.

گروه سوم شامل دو ژنوتیپ G17 و G1 بود. این دو ژنوتیپ کمترین عملکرد دانه و پایداری عملکرد را داشتند. گروه چهارم شامل ژنوتیپ‌های G13، G18،G7، G11 و G9 بود. این ژنوتیپ‌ها عملکرد دانه و پایداری عملکرد متوسط داشتند. گروه پنجم شامل ژنوتیپ‌های G5، G10،G3، G8 ،G4،G19 و G2 بود. این ژنوتیپ‌ها عملکرد دانه کم و پایداری عملکرد متوسط به بالا دارند و برای مناطق کم بازده توصیه می‌شوند. رقم شاهد بلوچی (G19) نیز در این گروه قرار داشت (شکل ۳).



شکل ۳- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های باقلا بر اساس رتبه‌های عملکرد دانه و پارامتر رتبه ASV با استفاده روش وارد

Fig. 3. Clustering of faba bean genotypes based on yield and ASV ranks using Ward method

به طور کلی با توجه به نتایج این پژوهش، روش AMMI اطلاعات کاملی از اثر همزمان ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهد. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان داد که ژنوتیپ/ژنوتیپ‌های مختلف باقلا از لحاظ عملکرد دانه واکنش متفاوتی به محیط‌های مختلف داشتند. بر اساس نمودارهای بای‌پلات، میانگین رتبه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و سه مؤلفه اول برهمکنش ژنوتیپ × محیط و همچنین بر اساس پارامتر پایداری ASV، ژنوتیپ WRB2-7 × Giza Blanca (G12) از گروه ژنوتیپ‌های دانه متوسط و رقم شاهد برکت (G16)، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار بودند و برای کشت در مناطق تولید باقلا در کشور در توصیه می‌شوند. ژنوتیپ (G12) WRB2-7 × Giza Blanca با عملکرد دانه ۳۲۸۸/۶۵ کیلوگرم در هکتار و مقدار پارامتر ASV برابر یک می‌تواند به‌عنوان یک رقم جدید با عملکرد دانه بالا و پایدار نامگذاری و معرفی شود. رقم زرشکی (G17) و ژنوتیپ

Barkat × New Mammoth (G9) با دارا بودن بیشترین مقدار ASV و اثر متقابل در هر دو مؤلفه به عنوان ژنوتیپ‌های با ناپایدارترین عملکرد دانه شناسایی شدند.

سپاسگزاری

نگارندگان از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای تامین هزینه‌های اجرایی تحقیق در قالب پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۹۴۲۸۸-۰۳-۵۷-۰، سپاسگزاری می کنند. همچنین از کارشناسان و کمک کارشناسان مراکز تحقیقاتی محل اجرای پروژه و جناب آقای دکتر خالد میری رئیس محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان (ایرانشهر)،که در اجرای این پژوهش با مجریان همکاری و مساعدت لازم مبذول داشتند تشکر و قدردانی می شود.

References

Ammar, M. H., Alghamdi, S. S., Migdadi, H. M., Khan, H. M., El-Harty, E. H., and Al-Faifi, S. A. 2015. Assessment of genetic diversity among faba bean genotypes using agro-morphological and molecular markers. Saudi Journal of Biological Sciences 22: 340–350.

Asnakech, T., Julia Derera, S., and Asnake, F. 2017. Analysis of genotype environment interaction and stability for grain yield and chocolate spot (*Botrytis fabae*) disease resistance in faba bean (*Vicia faba*). Australian Journal of Crop Science 11: 1228-1238.

Bocianowskia, J., Lierschb, A., and Nowosad, K. 2020. Genotype by environment interaction for alkenyl glucosinolates content in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. Current Plant Biology 21. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100137.

Brankovic-Radojcic, D., Babic, V., Girek, Z., Ţivanovic, T., Radojcic, A., Filipovic, M., and Srdic, J. 2018. Evaluation of maize grain yield and yield stability by AMMI analysis. Genetika 50: 1067-1080.

Ciric, M., Curcic, Z., Mirosavljevic, M., Marjanovic Jeromela, A., Jacimovic, G., Prodanovic, S., and Zivanovic, T. 2017. Assessment of sugar beet root yield by AMMI analysis. Genetika 49: 663 - 675.

FAO. 2017. FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: www.fao.org/faostat/

Farshadfar, E., Mahmodi, N., and Yaghotipoor, A. 2011. AMMI stability value and

simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Australian Journal of Crop Science 5 (13):1837-1844.

Fikere, M., Tadesse, T., Suso, M. J., and Legesse, T. 2008. Analysis of Multi-environment yield performance of faba bean (*Vacia faba* L.) genotypes using AMMI model. Journal of Genetic and Breeding 62: 25-30.

Firew, A. M., Amsalu, B., and Tsegaye, D. 2019. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and genotype main effect and genotype by environment interaction (GGE) biplot analysis of large white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes across environments in Ethiopia. African Journal of Agricultural Research 14 (35): 2135-2145.

Flores, F., Moreno, M. T., Martinez, A., and Cubero, J. I. 1996. Genotype-environment interaction in faba bean: comparison of AMMI and principal coordinate models. Field Crops Research 47: 117-127.

Gauch, H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. Crop Science 46: 1488-1500.

Kang, M. S., Prabhakaran, V. T., and Mehra, R. B. 2004. Genotype-by-environment interaction in crop improvement. pp. 535-572. In: Jain H. K. and Kharkwal M. C. (eds.). Plant breeding: Mendelian to molecular approaches. Springer Netherlands, Dordrecht.

Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernandez, J. A., Vagen, I. M., Rewald, B., Alsiņa, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M., Bodner, G., Dubova, L., Rosa, E., and Savvas, D. 2018. Faba bean cultivation – revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. Frontier in Plant Science 9:1115. doi: 10.3389/fpls.2018.01115

Katerj, N., Hoorn, J. W., Hamdy, A., Mastrorilli, M., and Oweis, T. 2009. Salt tolerance analysis of chickpea, faba bean and durum wheat varieties I. Chickpea and faba bean. Agriculture Water Management 72: 177-194.

Khomari, A., and Mohammadi, A. 2017. Stability study of yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars using AMMI method. Journal of Crop Breeding 9 (23):117-124 (in Persian).

Kooshki, M. H., Ghaedrahmati, M., Asadi, B., Kamel, M., Khorshidi Benam, M. B., and Dorri, H. R. 2016. Analysis of yield stability of some white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes using AMMI method. Seed and Plant

Improvement Journal 32-1: 557-573 (in Persian).

Liu, Z., Fan, X., Huang, W., Yang, J., Zheng, Y., Wang, Sh., and Qiu, L. 2017. Stability analysis of seven agronomic traits for soybean [(*Glycine max* (L.) Merr.] Tokachi nagaha and its derived cultivars using the AMMI model. Plant Production Science 20 (4): 499-506.

Maniruzzaman, M. Z., Islam, F., Begum, M. A. A., Khan, M., Amiruzzaman, B., and Hossain., A. 2019. Evaluation of yield stability of seven barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in multiple environments using GGE biplot and AMMI model. Open Agriculture 4: 284-293.

Minitab, INC. 2005. Minitab user's guide, vers. 14. Minitab Inc. Harrisburg, Pennsylvania, USA

Moghaddam, M., Mohammadi, S. A., and Aghaee-Sarbarzeh, M. 1995. Introduction to multivariate statistical methods. 281 pp. (in Persian).

Mohammadi, M., Sharifi, P., and Karimizadeh, R. 2016. Stability analysis of seed yield of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Crop Breeding 7 (16): 104-114 (in Persian).

Nasir Mousavi, S. M., Hejazi, P., and Kanani Zadegan Khalkhali, S. 2016. Study on stability of grain yield sunflower cultivars by AMMI and GGE bi plot in Iran. Molecular Plant Breeding 7 (2): 1-6.

Pereira, H. S., Bueno, L. G., Peloso, M. J. D., Abreu, A. D. F. B., Moreira, J. A. A., Martins, M., Wendland, A., Faria, L. C. D., de Souza, T. L. P. O., and Melo, L.C. 2014. Agronomic performance and stability of Andean common bean lines with white grains in Brazil. Bragantia 73: 130-137.

Purchase, J., Hatting, H., and Van Deventer, C. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South African Journal of Plant and Soil 17: 101-107.

Rabiei, M., and Khodambashi, M. 2020. Assessment of yield stability in common bean cultivars based on univariate and multivariate methods. Journal of Crop Production and Processing 9 (4): 33-45 (in Persian).

Sabaghpour, S. H., Razavi, F., Danyali, S. F., Tobe, D., and Ebadi, A. 2012. Additive main effect and multiplicative interaction analysis for grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Iran. International Scholarly Research Network. DOI:10.5402/2012/639381.

Sadeghi, S. M., Samizadeh, H., Amiri, E., and Ashouri, M. 2011. Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) analysis of dry leaf yield in tobacco hybrids across environments. African Journal of Biotechnology 10 (21): 4358-4364.

Safavi, M., and Bahraminejad, S. 2017. The evaluation of genotype × environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. Journal of Crop Breeding 9 (22): 125-132 (in Persian).

SAS. 2011. Base SAS 9.1 procedures guide. SAS Institute Inc, Cary.

Sharifi, P., Aminpanaha, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., and Abbasian, A. 2018. Evaluation of genotype × environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. Rice Science 24: 173-180.

Sheikh, F., and Feyzbakhsh, M. T. 2019. Faba bean: cultivation, crop husbandry and harvest. Nashr-e-Amoozesh-e-Keshavarzi. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran. 94 pp. (in Persian).

Shiri, M. R., and Bahrampour, T. 2016. Genotype × environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. Cereal Research 5: 83-94.

Tadele, M. 2019. Breeding achievements of faba bean (*Vicia faba* L.) and its impact in the livelihood of Ethiopian farmers. International Journal of Agriculture and Biosciences 8 (5): 263-269.

Tadele, T., Amanuel, T., Behailu, M., and Gashaw, S. 2018. Evaluation of the effect of genotype, environment and genotype × environment interaction on white common bean varieties using additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) analysis in the mid-altitude of Bale zone, Southeastern Ethiopia. African Journal of Agricultural Research 13 (7): 338-344.

Tadesse, T., Mulugeta, B., Sefera, G., and Tekalign, A. 2016. Genotypes by environment interaction of faba bean (*Vicia faba* L.). Grain yield in the highland of Bale zone, southeastern Ethiopia. Plant 5: 13-17.

Tekalign, A., Sibiya, J., Derera, J., and Fikre, A. 2017. Analysis of genotype × environment interaction and stability for grain yield and chocolate spot (*Botrytis fabae*) disease resistance in faba bean (*Vicia faba* L.). Australian Journal of Crop Science 11(10): 1228-1235.

Tekdal, S., and Kendal, E. 2018. AMMI Model to assess durum wheat genotypes in multi-environment trials. Journal of Agricultural Science and Technology 20: 153-166.

Temesgena, T., Kenenib, G., Seferaa, T., and Jarsob, M. 2015. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. The Crop Journal 3: 258-268.

Tolessa, T. T. 2015. Application of AMMI and Tai's stability statistics for yield stability analysis in faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars grown in central highlands of Ethiopia. Journal of Plant Sciences 3 (4): 197-206.

Tolessa, T. T., Gemechu, K., Mohammed, H., and Ahmed, S. K. 2019. Decades of faba bean (*Vicia faba* L.) breeding for better grain yield and seed size has inadvertently reduced G × E interaction and increased inter-temporal performance stability. Journal of Crop Science and Biotechnology 22 (3): 265-274.

Vargas, M., Crossa, J., van Eeuwijk, F.A., Ramirez, M. E., and Sayre, K. 1999. Using partial least squares regression, factorial regression, and AMMI models for interpreting genotype × environment interaction. Crop Science 39: 955-967.

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE biplot. Crop Science 40: 597-605.

Yan, W., Kang, M. S., Ma, B.,Woods, S., and Cornelius, P. L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by environment data. Crop Science 47: 643-655.

Zali, H., Sabaghpour, S., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R., and Hashem Beygi, A. 2009. Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter compare to other stability methods. Iranian Journal of Field Crop Science 40 (2): 21-29 (in Persian).